

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
28. März 2002 (28.03.2002)

PCT

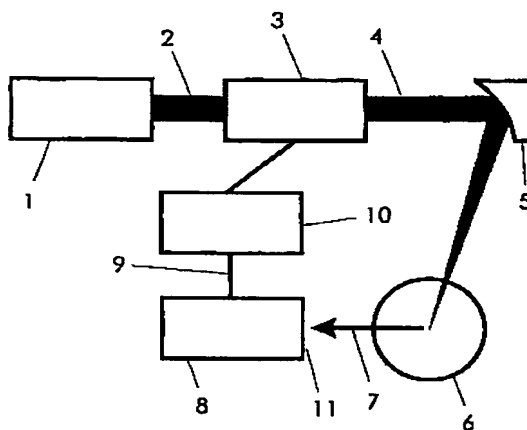
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/26003 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H05G 2/00** (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SAUERBREY, Roland  
(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE01/03635** [DE/DE]; Zenkarweg 5a, 07743 Jena (DE). FEURER,  
Thomas [DE/DE]; Gartenstrasse 2, 07743 Jena (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 19. September 2001 (19.09.2001) (74) Anwälte: FREITAG, Joachim usw.; Neugasse 13, 07743  
Jena (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): AB, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ,  
LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN,  
(30) Angaben zur Priorität: 100 47 779.8 20. September 2000 (20.09.2000) DE MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,  
SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN,  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von YU, ZA, ZW.  
US): FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA (84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,  
[DE/DE]; Fürstengraben 1, 07743 Jena (DE). GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONVERTING LASER RADIATION INTO X-RADIATION, IN PARTICULAR, INTO EXTREME  
ULTRAVIOLET (EUV) RADIATION USING A PLASMA GENERATED BY THE LASER RADIATION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR UMWANDLUNG VON LASERSTRAHLUNG IN RÖNTGENSTRAHLUNG, INSBESONDERE EUV-STRAHLUNG, MITTELS EINES VON DER LASERSTRAHLUNG ERZEUGTEN PLASMAS



(57) Abstract: Broadband light sources in the extreme ultraviolet (EUV) and weak X-ray range can be realized by the interaction of pulsed lasers with matter. Radiation-emitting plasmas are produced when laser pulses impact with a sufficient amount of intensity against solid, liquid or gaseous materials. In order to realize emissions in the hard X-ray range, lasers must be used which have high peak intensities, that is, they have pulse durations of less than one nanosecond. The aim of the invention is to increase the efficiency of the conversion of laser radiation into X-radiation, in particular, into EUV radiation. To this end, the invention provides that amplitude-modulated or phase-modulated sub-nanosecond pulses are irradiated onto the solid, liquid or gaseous material in order to generate a plasma having a high radiation conversion efficiency. The pulse modulation ensues according to the intensity of the X-radiation emitted by the plasma. The invention is used, for example, in electron-beam lithography for producing microelectronic semiconductor components.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 100 47 779 A 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 05 G 2/00  
H 05 H 1/46

AL  
DE 100 47 779 A 1

21 Aktenzeichen: 100 47 779.8  
22 Anmeldetag: 20. 9. 2000  
43 Offenlegungstag: 28. 3. 2002

71 Anmelder:  
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena, DE

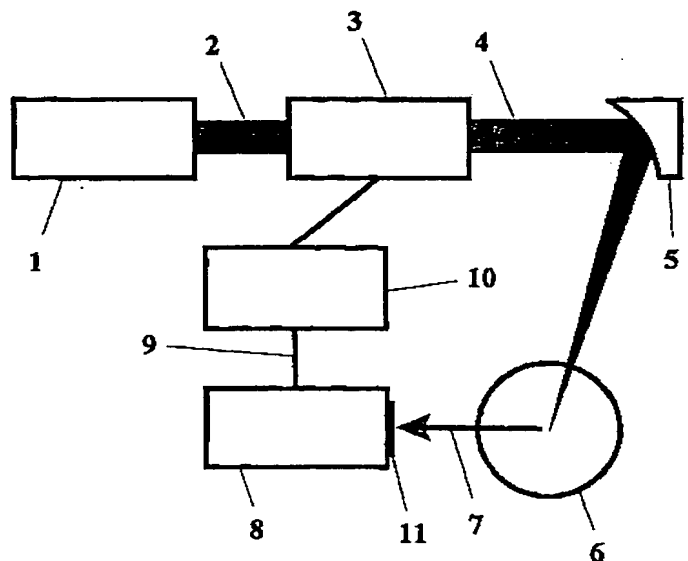
72 Erfinder:  
Sauerbrey, Roland, Prof. Dr., 07743 Jena, DE;  
Feurer, Thomas, Dr., 07743 Jena, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur Umwandlung von Laserstrahlung in Röntgenstrahlung, insbesondere EUV-Strahlung mittels eines von der Laserstrahlung erzeugten Plasmas

57 Breitbandige Lichtquellen im EUV und weichen Röntgenbereich lassen sich durch die Wechselwirkung von gepulsten Lasern mit Materie realisieren. Treffen die Laserimpulse mit ausreichender Intensität auf feste, flüssige oder gasförmige Materialien, so entstehen strahlungsemitternde Plasmen. Um Emissionen im harten Röntgenbereich zu realisieren, müssen Laser mit hohen Spitzenintensitäten, also mit Pulsdauern kleiner etwa einer Nanosekunde, verwendet werden. Aufgabe ist es, den Wirkungsgrad der Umwandlung von Laserstrahlung in Röntgenstrahlung, insbesondere EUV-Strahlung, zu erhöhen.

Erfindungsgemäß werden zur Erzeugung eines Plasmas mit hoher Strahlungsumwandlungseffizienz amplituden- bzw. phasenmodulierte subnano-sekunden-Impulse auf das feste, flüssige oder gasförmige Material eingestrahlt. Die Impulsmodulation erfolgt in Abhängigkeit der Intensität der vom Plasma emittierten Röntgenstrahlung. Die Erfindung wird beispielsweise angewendet in der Elektronenstrahl-Lithographie zur Herstellung von mikroelektronischen Halbleiterbauelementen.



DE 100 47 779 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Umwandlung von Laserstrahlung in Röntgenstrahlung, insbesondere EUV-Strahlung, mittels eines von der Laserstrahlung erzeugten Plasmas.

[0002] Breitbandige Lichtquellen im EUV und weichen Röntgenbereich lassen sich durch die Wechselwirkung von gepulsten Lasern mit Materie realisieren. Treffen die Laserimpulse mit ausreichender Intensität auf feste, flüssige oder gasförmige Materialien, so entstehen Plasmen. Diese lasererzeugten Plasmen emittieren sowohl material-charakteristische Linienstrahlung als auch materialunabhängige Kontinuums-Strahlung. Die Plasmamaparameter – wie Skalenlänge, Plasmatemperatur oder Elektronendichte – bestimmen, in welchem Wellenlängenbereich die intensivste Emission auftritt. Diese Parameter hängen wiederum von den charakteristischen Größen der verwendeten Laserimpulse ab.

[0003] Um Emissionen im harten Röntgenbereich zu realisieren, müssen Laser mit hohen Spitzenintensitäten, also mit Pulsdauern kleiner etwa einer Nanosekunde, verwendet werden.

[0004] In dem für die Lithographie wichtigen Wellenlängenbereich um 13 nm Wellenlänge kann bisher weniger als ein halbes Prozent der Laserenergie umgewandelt werden. Um dennoch die notwendigen Energien bei 13 nm Wellenlänge zu erzielen wären daher Laser mit heute noch nicht erreichter Ausgangsintensität erforderlich.

[0005] Es ist auch für spezielle Wellenlängenbereiche vorgeschlagen worden, die Effizienz dieser Energiewandlung durch die Verwendung zweier aufeinanderfolgender Impulse zu erhöhen. Gleichzeitig wurde die Ausbeute weicher Röntgenstrahlung in einem Wellenlängenbereich kleiner 10 nm durch eine automatische Optimierung des zeitlichen Abstandes der beiden Impulse demonstriert.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde den Wirkungsgrad der Umwandlung von Laserstrahlung in Röntgenstrahlung, insbesondere EUV-Strahlung, zu erhöhen.

[0007] Erfindungsgemäß werden zur Erzeugung eines Plasmas mit hoher Strahlungsumwandlungseffizienz amplituden- bzw. phasenmodulierte subnano-sekunden-Impulse auf das feste, flüssige oder gasförmige Material eingestrahlt. Die Energie der vom Plasma emittierten Strahlung wird in einem bestimmten Wellenlängenbereich durch einen geeigneten Detektor gemessen. In Abhängigkeit der gemessenen Energie dieser emittierten Strahlung werden die Laserimpulse zur Erzeugung des Plasmas in ihrer Amplituden- und/oder in ihrer Phasenstruktur hinsichtlich einer maximalen Strahlungsintensität der Röntgenstrahlung, insbesondere EUV-Strahlung, geregelt, so dass die Energie der vom lasererzeugten Plasma emittierten Strahlung mit einem Minimum an Laserleistung zur Bestrahlung des festen, flüssigen oder gasförmigen Material gewonnen wird. Auf diese Weise wird eine Effizienzsteigerung, speziell im EUV-Bereich, erreicht, die ansonsten nur über eine Erhöhung der primären Laserenergie möglich wäre. Dieses würde aber Energien von Lasern erfordern, die gegenwärtig noch nicht existent sind.

[0008] Die Erfindung soll nachstehend anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert werden.

[0009] In der Figur ist die erfindungsgemäße Vorrichtung in ihrem Prinzipaufbau dargestellt. Ein Laser 1 erzeugt Impulse 2 im Subnano-Sekundenbereich, welche durch einen Pulsformer 3 in ihrer Amplitude und/oder Phasenlage moduliert werden. Die modulierten Laserimpulse 4 werden mittels einer achromatischen korrigierten Linse 5 als Fokus-

sieroptik auf ein Festkörpertarget 6 gelenkt und mit dieser zur Wechselwirkung gebracht. Dabei entsteht ein Plasma mit einer EUV-Strahlung 7, deren Intensität durch eine EUV-empfindliche Detektordiode 8 gemessen und digitalisiert als Rückkopplungssignal 9 zu einem Rechner 10 geleitet wird. Der Rechner 10 verändert über einen geeigneten Algorithmus die Art der Phasen- und/oder Amplituden-Modulation bis die EUV-Strahlung ihre maximale Intensität erreicht hat.

[0010] Die EUV-empfindliche Detektordiode 8 wird durch einen dünnen Aluminiumfilter 11 vor störender Laserstreustrahlung geschützt.

#### Aufstellung der verwendeten Bezugszeichen

- 1 Laser
- 2 Impulse
- 3 Pulsformer
- 4 modulierte Laserpulse
- 5 Linse
- 6 festes, flüssiges oder gasförmiges Material
- 7 zu erzeugende Strahlung
- 8 Detektordiode
- 9 Rückkopplungssignal
- 10 Rechner
- 11 Aluminiumfilter

#### Patentansprüche

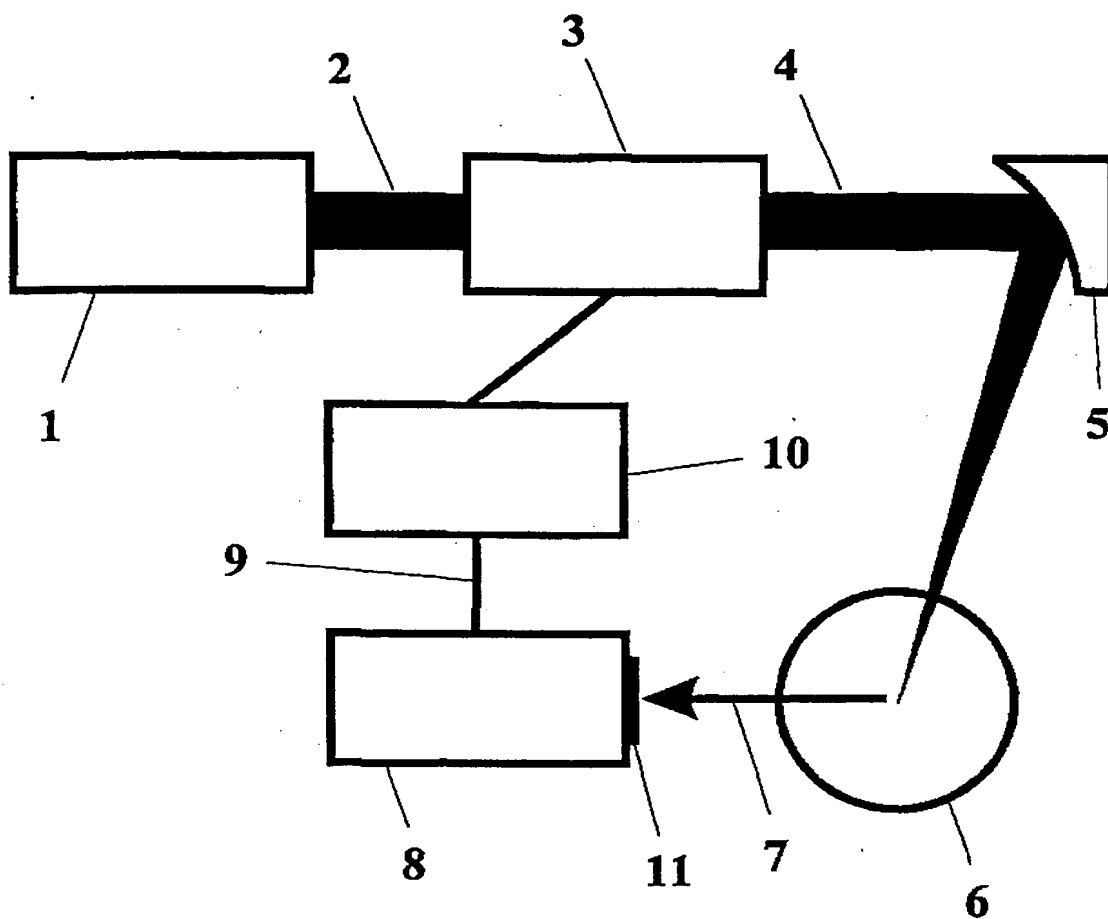
Verfahren zur Umwandlung von Laserstrahlung in Röntgenstrahlung, insbesondere EUV-Strahlung, mittels eines durch Bestrahlung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Material von der Laserstrahlung erzeugten Plasmas, bei dem die Laserstrahlung in Abhängigkeit der vom Plasma emittierten Röntgenstrahlung beeinflusst wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Erzeugung eines Plasmas hoher Strahlungsumwandlungseffizienz das feste, flüssige oder gasförmige Material mit in Abhängigkeit von der Intensität der emittierten Röntgenstrahlung amplituden- und/oder phasenmodulierten subnano-Sekunden-Impulsen bestrahlt wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



Figur